



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 13 217.1

Anmeldetag: 25. März 2003

Anmelder/Inhaber: Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Erzeugung mindestens einer Kennlinie einer Luftmassen-Erfassungseinrichtung für eine Brennkraftmaschine

IPC: F 02 D 41/18

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 9. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Scholz'.

Scholz

5 16.03.2003

KNA/STR

Robert Bosch GmbH,
70442 Stuttgart

10



Verfahren zur Erzeugung mindestens einer Kennlinie einer
Luftmassen-Erfassungseinrichtung für eine
15 Brennkraftmaschine

Stand der Technik

20

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung
mindestens einer Kennlinie einer Luftmassen-
Erfassungseinrichtung für eine Brennkraftmaschine.



25

Ein solches Verfahren ist vom Markt her bekannt. Bei diesem
werden in einem Gebläseprüfstand, der die
Strömungssituation in einem Ansaugbereich einer
Brennkraftmaschine simulieren soll, einerseits eine
Luftmassen-Erfassungseinrichtung und andererseits eine
genaue Vergleichssonde installiert. Die Signale beider
30 Sensoren werden aufgezeichnet. Aus den Ausgangssignalen der
Luftmassen-Erfassungseinrichtung und den von der
Vergleichssonde ermittelten Massenströmen wird eine
Kennlinie gebildet, welche den Einfluss der Geometrie des
Ansaugbereichs der Brennkraftmaschine und dessen Wirkung

auf das Signal berücksichtigt.

Im Normalbetrieb einer Brennkraftmaschine dient das Signal der Luftmassen-Erfassungseinrichtung unter anderem zur

5 Bestimmung des Lastzustands der Brennkraftmaschine.

Üblicherweise wird als Luftmassen-Erfassungseinrichtung ein Heißfilm-Luftmengenmesser verwendet, welcher auch als "HFM-Sensor" bezeichnet wird.

10 Die bei dem Prüfstandsversuch ermittelte Kennlinie wird auch als "statische" Kennlinie bezeichnet, da sie bei statischen bzw. stationären Strömungsbedingungen erstellt wird. Sie wird in einem Steuergerät der Brennkraftmaschine abgelegt. Ein Problem ist jedoch, dass bei vielen
15 Brennkraftmaschinen die Luftströmung im Ansaugbereich nicht stationär ist, sondern pulsiert. Die korrekte Erfassung einer solchen pulsierenden Luftströmung ist im realen Einsatz für übliche Luftmassen-Erfassungseinrichtungen prinzipbedingt schwierig, so dass es zu einer Fehlanzeige
20 kommt, welche eine Funktion der Frequenz und der Amplitude der Strömungspulsationen ist.

Wenn jedoch der von der Luftmassen-Erfassungseinrichtung ermittelte Luftmassenstrom nicht dem tatsächlich in die
25 Brennräume einer Brennkraftmaschine gelangenden Luftmassenstrom entspricht, kann es beispielsweise zu Abweichungen des Emissionsverhaltens der Brennkraftmaschine von einem optimalen Emissionsverhalten kommen.

30 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass die Luftmassen-Erfassungseinrichtung auch bei pulsierender Luftströmung möglichst präzise Ergebnisse liefert.

35

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass eine dynamische Kennlinie mittels eines Verfahrens erzeugt wird, welches folgende Schritte umfasst:

5

b) Aufnehmen der Signale einer Luftmassen-Erfassungseinrichtung, indem die Luftmassen-Erfassungseinrichtung auf einem Brennkraftmaschinen-Prüfstand bei verschiedenen Betriebspunkten einem Luftmassenstrom ausgesetzt und das von der Luftmassen-Erfassungseinrichtung erzeugte Signal erfasst wird,

10

c) Umrechnen der Signale der Luftmassen-Erfassungseinrichtung in Luftmassenstromwerte durch Interpolation an eine Ausgangskennlinie;

15

d) Bilden von Mittelwerten der Luftmassenstromwerte über ganzzahlige Vielfache einer Pulsationsperiode für die jeweiligen Betriebspunkte;

e) Berechnen einer Abweichung, welche der Abweichung des Mittelwerts des Luftmassenstroms von einem genauen Vergleichs-Luftmassenstrom entspricht, für die jeweiligen Betriebspunkte;

20

f) Berechnen der quadratischen Norm über die Matrix der Abweichung;

g) Erzeugen einer angepassten Kennlinie im Sinne einer Optimierung bezüglich der Bedingung, dass die quadratische Norm minimal wird;

25

h) Umrechnen der Signale der Luftmassen-Erfassungseinrichtung in Luftmassenstromwerte durch Interpolation an die angepasste Kennlinie; und

30

i) Iteration durch Wiederholen der Schritte h), d),

e), f), g).

Die gestellte Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art auch dadurch gelöst, dass eine dynamische

5 Kennlinie mittels eines Verfahrens erzeugt wird, welches folgende Schritte umfasst:

10 a) Aufnehmen der Signale einer Luftmassen-Erfassungseinrichtung, indem die Luftmassen-Erfassungseinrichtung bei verschiedenen Betriebspunkten auf einem Brennkraftmaschinen-Prüfstand einem Luftmassenstrom ausgesetzt und das von der Luftmassen-Erfassungseinrichtung erzeugte Signal erfasst wird;

15 b) Erzeugen von Histogrammen aus den Signalen über mindestens eine vollständige Pulsationsperiode für die jeweiligen Betriebspunkte der Brennkraftmaschine;

20 c) Umrechnen äquidistanter Signalwerte in Luftmassenstromwerte durch Interpolation an eine Ausgangskennlinie;

d) gewichtete Mittelwertbildung der Luftmassenstromwerte durch Verwendung der Histogramme, jeweils für die Betriebspunkte;

25 e) Berechnen einer Abweichung, welche der Abweichung des mittleren Luftmassenstroms vom Vergleichs-Luftmassenstrom entspricht, jeweils für die Betriebspunkte;

f) Berechnen der quadratischen Norm über die Matrix der Abweichung;

g) Erzeugen einer angepassten Kennlinie im Sinne einer Optimierung bezüglich der Bedingung, dass die quadratische Norm minimal wird;

h) Umrechnen der Signale der Luftmassen-Erfassungseinrichtung in Luftmassenstromwerte durch Interpolation an die angepasste Kennlinie; und

i) Iteration durch Wiederholen der Schritte h), c), d), e), f), und g).

Vorteile der Erfindung

Die mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens gebildete angepasste dynamische Kennlinie führt insbesondere bei stark pulsierender Luftströmung zu einer hohen Genauigkeit bei der Ermittlung des tatsächlichen in einen Brennraum einer Brennkraftmaschine gelangenden Luftmassenstroms aus dem Ausgangssignal der Luftmassen-Erfassungseinrichtung. Letztlich kann hierdurch das Verbrauchs- und Emissionsverhalten der Brennkraftmaschine deutlich verbessert werden, da die Gemischsteuerung mit höherer Präzision möglich ist.

Bei der von der bisher üblichen statischen Kennlinie abweichenden angepassten dynamischen Kennlinie wird das dynamische Strömungsverhalten in einem Ansaugbereich einer Brennkraftmaschine sehr gut berücksichtigt. Hierzu werden entsprechende Daten in einem realen Brennkraftmaschinen-Prüfstand bei verschiedenen Betriebspunkten (beispielsweise Drehzahl und Last, wobei die Last wiederum beispielsweise durch das Drehmoment oder den Brennraum-Mitteldruck ausgedrückt werden kann) aufgenommen und abgespeichert. Dabei wird bei der Datenaufnahme durch eine geeignete Auswahl der Betriebspunkte vorteilhafterweise der gesamte Betriebsbereich der Brennkraftmaschine abgedeckt.

Die modifizierte Kennlinie ist darüber hinaus unabhängig von dem Vorhandensein von Korrekturkennfeldern in einem Steuergerät, welches die Ausgangssignale der Luftmassen-Erfassungseinrichtung verarbeitet, so dass das erfindungsgemäße Verfahren auch bei solchen Steuergeräten zum Einsatz kommen kann, welche ein derartiges Korrekturkennfeld überhaupt nicht aufweisen.

Um über die Regelschwingungen im Prüfstand einen Mittelwert bilden zu können, wird das Signal der Luftmassen-Erfassungseinrichtung im gleichen Zeitfenster wie das Signal der Vergleichssonde aufgezeichnet. Diese hohe Zeitauflösung der Messung darf nicht verschlechtert werden, da sonst die wichtigen dynamischen Effekte nicht mehr korrekt erfasst werden würden. Deshalb fällt bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zunächst eine große Datenmenge an.

Mittels der bei dem zweitgenannten Verfahren vorgeschlagenen Verwendung von Histogrammen gelingt eine erhebliche Reduzierung der Datenmenge unter Beibehaltung der dynamisch relevanten Informationen. Dabei wird für den jeweiligen Betriebspunkt statt des vollständigen Signals der Luftmassen-Erfassungseinrichtung nur ein Histogramm dieses Signals gespeichert. Während der Kennlinienoptimierung wird dann nicht jeder einzelne Signalwert der Luftmassen-Erfassungseinrichtung durch Interpolation an die Kennlinie in einen Luftmassenstrom umgerechnet, sondern es werden lediglich die Grenzen der äquidistanten Histogrammkanäle (in der Praxis ist deren Einheit Volt) durch einen an die Kennlinie interpolierten Binning-Vektor (Einheit beispielsweise kg/h) ersetzt. Dabei ist die Tatsache entscheidend, dass nur eine feste Anzahl von Interpolationen benötigt wird, die gleich der Dimension

des Binning-Vektors ist. Die Anzahl der Interpolationen ist also unabhängig vom Umfang der Messdaten, während sich die Messgenauigkeit mit dem Umfang der Messdaten verbessert.

- 5 Durch die Verwendung von Histogrammen ist es möglich, die Datenmenge um einige Größenordnungen zu reduzieren. Dies führt wiederum dazu, dass der Optimierungsalgorithmus deutlich schneller konvergiert. Je nach Charakteristik des Ansaugbereichs der Brennkraftmaschine wird durch dieses
10 Verfahren eine Konvergenz eines Optimierungsverfahrens überhaupt erst ermöglicht.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in Unteransprüchen angegeben.

15

- In einer ersten Weiterbildung wird vorgeschlagen, dass für die nichtlineare Optimierung die Levenberg-Marquardt-Methode verwendet wird. Dieses nichtlineare
Optimierungsverfahren konvergiert vergleichsweise schnell
20 und ist einfach zu programmieren. Alternativ können aber auch genetische Algorithmen oder Evolutionsstrategien zur Optimierung verwendet werden.

25

Dabei kann die Iteration nach einer vorgegebenen Anzahl von Iterationsschritten abgebrochen werden. Hierdurch bleibt der Rechenaufwand in einem vorbestimmten Rahmen.

30

Alternativ hierzu ist es möglich, dass die Iteration bei Erreichen eines vorgegebenen Wertes für die quadratische Norm abgebrochen wird. In diesem Fall wird die Genauigkeit des Optimierungsergebnisses vorgegeben.

35

Dabei ist es ferner vorteilhaft, wenn unterschiedliche zufallsgenerierte statische Kennlinien als Ausgangskennlinien verwendet werden. Dies ermöglicht das

Erkennen suboptimaler Extrema. Das Ergebnis der Optimierung wird hierdurch nochmals besser.

Ferner wird vorgeschlagen, dass die Optimierung auch bezüglich einer Nebenbedingung erfolgt, durch welche ein gewünschter Verlauf der angepassten Kennlinie berücksichtigt wird. Hierdurch kann zum Beispiel einer Forderung nach einem monotonen Verlauf der angepassten Kennlinie Rechnung getragen werden.

10



Zeichnung

15

Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

20

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine mit einer Luftmassen-Erfassungseinrichtung;

25

Figur 2 eine typische Kennlinie der Luftmassen-Erfassungseinrichtung von Figur 1;

30

Figur 3 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Erzeugen einer modifizierten dynamischen Kennlinie für die Luftmassen-Erfassungseinrichtung von Figur 1;

Figur 4 drei Diagramme, welche die Datenreduktion mittels Bildung von Histogrammen erläutern;

35

Figur 5 ein Diagramm, in dem Flächen gleicher relativer Abweichung des anhand der statischen Kennlinie

ermittelten Luftmassenstroms vom tatsächlichen Luftmassenstrom bei verschiedenen Betriebspunkten der Brennkraftmaschine von Figur 1 aufgetragen sind;

5

Figur 6 ein Diagramm ähnlich Figur 5 auf der Basis einer angepassten dynamischen Kennlinie; und

Figur 7 eine schematische Darstellung ähnlich Figur 3 eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Erzeugen einer angepassten dynamischen Kennlinie für die Luftmassen-Erfassungseinrichtung von Figur 1.

10

15

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Eine Diesel-Brennkraftmaschine trägt in Figur 1 insgesamt das Bezugszeichen 10. Sie umfasst mehrere Zylinder, von denen in Figur 1 aus Darstellungsgründen nur einer dargestellt ist. Er umfasst einen Brennraum 12, dem Luft über ein Ansaugrohr 14 und ein Einlassventil 16 zugeführt wird. Die Verbrennungsabgase werden aus dem Brennraum 12 über ein Auslassventil 18 und ein Abgasrohr 20 abgeleitet. Der durch das Ansaugrohr 14 strömende Luftmassenstrom wird von einer Luftmassen-Erfassungseinrichtung 24 erfasst, im vorliegenden Fall einem HFM-Sensor.

20

25

Ferner wird der Luftmassenstrom von einer hochgenauen Vergleichssonde 26, einer so genannten "Luftuhr", erfasst, welche im Abgasrohr 20 angeordnet ist. Kraftstoff wird dem Brennraum 12 direkt über einen Injektor 28 zugeführt, welcher von einem Hochdruck-Kraftstoffsystem 30 versorgt wird. Eine Glühleinrichtung 32 kann die Entflammung des im

30

Brennraum 12 vorhandenen Gemisch bei einem Kaltstart erleichtern.

Die Bestimmung der über das Ansaugrohr 14 in den Brennraum 12 gelangenden Luftmasse ist für die korrekte Gemischsteuerung im Brennräum 12 sehr wichtig. Es ist daher wünschenswert, dass der Luftmassenstrom vom HFM-Sensor 24 mit möglichst hoher Präzision erfasst werden kann. Hierzu wird eine Kennlinie verwendet, welche das Ausgangssignal U_{HFM} des HFM-Sensors 24 mit einem entsprechenden Luftmassenstrom m verknüpft. Ein Beispiel für eine derartige Kennlinie 38 ist in Figur 2 dargestellt. Sie umfasst eine Mehrzahl von Stützstellen 36. Die Kennlinie 38 wird durch Interpolation zwischen den Stützstellen 36 erstellt. Bauartbedingt kann es im Ansaugrohr 14 zu mehr oder weniger starken Luftpulsationen kommen.

Aufgrund von thermodynamischen und aerodynamischen Effekten am HFM-Sensor 24 können diese Luftpulsationen zu fehlerhaften Messergebnissen führen, welche bei den bisher verwendeten statischen Kennlinien nicht berücksichtigt werden können. Um diese Fehler zu minimieren, wird eine modifizierte dynamische Kennlinie bereitgestellt, welche auch dynamische Strömungseffekte im Ansaugrohr 14 berücksichtigt und so den durch das Ansaugrohr 14 zum Brennraum 12 strömenden Luftmassenstrom möglichst genau wiedergibt. Hierzu wird ein nichtlineares Optimierungsverfahren durchgeführt, welches nun unter Bezugnahme auf Figur 3 erläutert wird:

Zunächst werden bei einem Prüfstandlauf mit der Brennkraftmaschine 10 die Rohsignale des HFM-Sensors 24 bei verschiedenen Drehzahl-/Lastpunkten aufgezeichnet. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wurden diese Signale für 15 unterschiedliche Drehzahlen und 15 unterschiedliche

Lasten 60 sec lang mit einer Zeitauflösung von 0,5 msec erfasst. Dies ergibt die Ausgangsspannung U_{HFM} des HFM-Sensors 24 als Array mit den Dimensionen 15 x 15 x 120000 (Bezugszeichen 40 in Figur 3).

5

Diese Datenmenge wird nun unter Beibehaltung der dynamisch relevanten Information durch die Ermittlung von Histogrammen reduziert: Dabei wird für jeden Drehzahl-/Lastpunkt das aufgezeichnete zeitabhängige Spannungssignal $U=f(t)$ (oberstes Diagramm in Figur 4) für eine vollständige Pulsationsperiode in ein Histogramm $n_{\text{rel}}=f(U)$ (mittleres Diagramm in Figur 4) umgewandelt. Ein Histogramm entspricht also einerseits einer Mittelung über die gesamte Messzeit t , das heißt auch über alle Regelschwankungen. Andererseits ist dennoch in ihm die gesamte relevante dynamische Information enthalten.

10

15

20

25

Die Spannung U_{HFM} wird dabei in äquidistanten Schritten dargestellt mit einer festen Schrittweite (vorliegend wird ein Bereich von 0 bis 5 Volt abgedeckt mit einer Schrittweite von 0,005 Volt). Das sich ergebende Array n_{rel} (Bezugszeichen 42 in Figur 3) hat im vorliegenden Ausführungsbeispiel also nur noch die Dimension 15 x 15 x 1000. Man erreicht hierdurch eine Reduktion der Datenmenge um zwei Größenordnungen von ungefähr 180 MB auf nur noch ungefähr 1,8 MB.

30

35

In 54 werden die Spannungswerte U_{HFM} von 0 bis 5 Volt (Schrittweite 0,005 Volt) mittels quadratischer Interpolation an eine in 52b vorgegebene Kennlinie interpoliert. Diese weist üblicherweise anfangs ("initial guess", Bezugszeichen 51) Abstände ΔU_A (Bezugszeichen 52a) zwischen den Stützstellen auf, welche den Abständen zwischen den Stützstellen (m , U_A) einer üblichen statischen Kennlinie entsprechen. Die oben angegebene Interpolation

bedeutet nichts anderes, als dass nicht jeder einzelne Signalwert des HFM-Sensors 24 durch Interpolation an die Kennlinie in einen Luftmassenstrom umgerechnet wird, sondern es werden vielmehr lediglich die Grenzen der äquidistanten Histogrammkanäle (Einheit: Volt) durch einen an die Kennlinie interpolierten Binning-Vektor (Einheit: kg/h) ersetzt. Das Ergebnis ist ein Luftmassenstromvektor \bar{m}_{HFM} (Bezugszeichen 56).

10 In 44 wird nun für jeden Betriebspunkt n , P_{ME} ein gewichteter Mittelwert für den Luftmassenstrom m_{HFM} gebildet (dieser entspricht dem Schwerpunkt des entsprechenden Histogramms). Dies führt zu einem Luftmassenstrom \bar{m}_{HFM} als zweidimensionales Array, abhängig von der Drehzahl n und
 15 der Last P_{ME} (Bezugszeichen 46). In 48 wird hieraus die relative Abweichung dm/m berechnet, welche der Differenz zwischen dem gemittelten Luftmassenstrom (Block 46) und dem von der Vergleichssonde 26 erfassten Luftmassenstrom m_{VS} bezogen auf den von der Vergleichssonde erfassten
 20 Luftmassenstrom ist (der Luftmassenstrom m_{VS} wird abhängig von der Drehzahl n und der Last P_{ME} in 49 als zweidimensionales Array bereitgestellt). Dabei sei darauf hingewiesen, dass bei anderen Ausführungsbeispielen anstelle der von einer genauen Vergleichssonde erfassten
 25 Werte auch auf andere Art und Weise ermittelte Werte verwendet werden können, welche möglichst genau dem tatsächlichen Luftmassenstrom entsprechen.

Über diese Matrix der relativen Abweichung dm/m wird nun in
 30 50 die quadratische Norm X^2 berechnet, welche der Summe der Quadrate der Abweichungen über alle Drehzahl-/Lastpunkte entspricht. Die Berechnung der quadratischen Norm X^2 erfolgt also mittels einer Summenbildung über die quadrierten Matrix-Komponenten. Das Optimierungsziel ist
 35 die Minimierung dieser Zahl, welche zu neuen Abständen ΔU_A

(Bezugszeichen 52a) zwischen den Stützstellen der Kennlinie führt. Man erhält so in 52b eine modifizierte Kennlinie, die durch die entsprechenden neuen Stützstellen m (Luftmassenstrom) und U_A (Spannung) gekennzeichnet ist.

5

Über den Term X'^2 können Nebenbedingungen bei der Optimierung berücksichtigt werden. So wird beispielsweise von der Kennlinie ein monotoner Verlauf verlangt.

Kennlinien mit nicht-monotonem Verlauf können als

10

Optimierungsergebnis ausgeschlossen werden. Dies kann durch einen Term X'^2 berücksichtigt werden, welcher bei einem negativen ΔU_A groß wird.

Mittels einer quadratischen Interpolation wird diese neue

15

Kennlinie 52 wieder auf die äquidistanten Spannungen U_{HFM} als neue Stützstellen umgerechnet, welche als Binning-Vektor bei der Histogrammbildung dienen. Dadurch ergeben sich gemäß der Kennlinie den Spannungen des Binning-Vektors zugeordnete neue Luftmassen \bar{m}_{HFM} (Bezugszeichen 56).

20

Die Schritte 54, 56, 44, 46, 48, 50, 52a und 52b werden im Sinne einer Iteration so oft wiederholt, bis entweder eine vorgegebene Anzahl von Iterationsschritten erreicht ist

oder bis die quadratische Norm X^2 einen vorgegebenen Wert

25

erreicht. Aufgrund der Datenreduktion mittels Histogrammen beträgt der Zeitraum, welcher für die Optimierung benötigt wird, im vorliegenden Ausführungsbeispiel auf einer

üblichen Rechanlage nur ungefähr 30 Sekunden. Der durch

die Datenreduktion erzielte Zeitvorteil wird umso größer,

30

je größer die vorhandene Datenmenge ist.

Die Genauigkeit der modifizierten dynamischen Kennlinie, welche man letztlich in 52 erhält, gegenüber einer

statischen Kennlinie wird bei einem Vergleich der Diagramme

35

der Figuren 5 und 6 deutlich: In diesen sind Flächen

gleicher relativer Abweichung dm/m , also des mittels der entsprechenden Kennlinie ermittelten Luftmassenstroms vom tatsächlichen Luftmassenstrom, abhängig von der Drehzahl n und dem der Last entsprechenden Mitteldruck P_{ME} aufgetragen.

Man erkennt, dass im gesamten Betriebsbereich der Brennkraftmaschine 10 bei Verwendung der modifizierten dynamischen Kennlinie die maximale relative Abweichung zwischen 6 und 10 %, in weiten Bereichen jedoch nur zwischen -2 und +2 % liegt (Figur 6). Bei Verwendung einer üblichen statischen Kennlinie werden dagegen vor allem bei niedrigen Drehzahlen Abweichungen bis 18 % festgestellt (Figur 5).

In Figur 7 ist ein Ablaufschema eines alternativen Ausführungsbeispiels des oben beschriebenen Verfahrens dargestellt. Dabei werden für funktionsäquivalente Bereiche die gleichen Bezugszeichen verwendet wie in Figur 3.

Bereits in Figur 3 beschriebene Bereiche werden darüber hinaus im Zusammenhang mit Figur 7 nicht nochmals im Detail erläutert.

Das in Figur 7 dargestellte Verfahren unterscheidet sich von dem in Figur 3 dargestellten Verfahren vor allem dadurch, dass auf eine Datenreduktion mittels Bildung von Histogrammen verzichtet wird. Dies führt dazu, dass in 54 an Stelle von 1000 Interpolationen pro Drehzahl-/Lastpunkt 27 Millionen Interpolationen ($15 \times 15 \times 120000$) erforderlich sind. Die entsprechende Rechenzeit für die Optimierung ist daher deutlich länger als bei dem in Figur 3 gezeigten Verfahren (ungefähr sechs Stunden auf einer üblichen Rechenanlage), und die Optimierung konvergiert langsamer.

5 16.03.2003

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

10

1 Ansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung mindestens einer Kennlinie einer Luftmassen-Erfassungseinrichtung (24) einer Brennkraftmaschine, welche ein Ausgangssignal (U) der Luftmassen-Erfassungseinrichtung (24) mit einem Luftmassenstrom (m) verknüpft, dadurch gekennzeichnet, dass es folgende Schritte umfasst:

a) Aufnehmen (40) von Rohsignalen (U_{HFM}) einer Luftmassen-Erfassungseinrichtung (24), indem die Luftmassen-Erfassungseinrichtung (24) bei verschiedenen Betriebspunkten auf einem Brennkraftmaschinen-Prüfstand einem Luftmassenstrom (m) ausgesetzt und das von der Luftmassen-Erfassungseinrichtung (24) erzeugte Signal erfasst wird;

b) Umrechnen der Rohsignale (U_{HFM}) der Luftmassen-Erfassungseinrichtung (24) in Luftmassenstromwerte (m_{HFM}) durch Interpolation (54) an eine Ausgangskennlinie (52b);

c) Bilden von Mittelwerten (44) der Luftmassenstromwerte über ganzzahlige Vielfache einer

Pulsationsperiode für die jeweiligen Betriebspunkte (n, p_{ME}) ;

d) Berechnen (48) einer Abweichung (dm/m) , welche der Abweichung des mittleren Luftmassenstroms von einem Vergleichs-Luftmassenstrom entspricht, für die jeweiligen Betriebspunkte (n, p_{ME}) ;

e) Berechnen (50) der quadratischen Norm (X^2) über die Matrix der Abweichung;

f) Erzeugen (52a, 52b) einer angepassten Kennlinie im Sinne einer Optimierung bezüglich der Bedingung, dass die quadratische Norm (X^2) minimal wird;

g) Umrechnen der Rohsignale (U_{HFM}) der Luftmassen-Erfassungseinrichtung (24) in Luftmassenstromwerte (m_{HFM}) durch Interpolation (54) an die angepasste Kennlinie (52b); und

h) Iteration durch Wiederholen der Schritte g), c), d), e), und f).

2. Verfahren zur Erzeugung mindestens einer Kennlinie einer Luftmassen-Erfassungseinrichtung (24) für eine Brennkraftmaschine (10), welche ein Ausgangssignal (U) der Luftmassen-Erfassungseinrichtung (24) mit einem Luftmassenstrom (m) verknüpft, dadurch gekennzeichnet, dass es folgende Schritte umfasst:

a) Aufnehmen (40) von Rohsignalen (U) einer Luftmassen-Erfassungseinrichtung (24), indem die Luftmassen-Erfassungseinrichtung (24) bei verschiedenen Betriebspunkten (n, p_{ME}) auf einem Brennkraftmaschinen-Prüfstand einem Luftmassenstrom (m) ausgesetzt und das von der Luftmassen-

Erfassungseinrichtung (24) erzeugte Signal erfasst wird;

b) Erzeugen von Histogrammen (42) aus den Rohsignalen (U_{HFM}) über mindestens eine vollständige Pulsationsperiode für die jeweiligen Betriebspunkte (n , p_{ME}) der Brennkraftmaschine (10);

c) Umrechnen äquidistanter Signalwerte (U_{HFM}) in Luftmassenstromwerte (m_{HFM}) durch Interpolation (54) an eine Ausgangs-Kennlinie (52b);

d) gewichtete Mittelwertbildung (44) der Luftmassenstromwerte (m_{HFM}) durch Verwendung der Histogramme, jeweils für die Betriebspunkte (n , p_{ME});

e) Berechnen (48) einer Abweichung (dm/m), welche der Abweichung des mittleren Luftmassenstroms vom Vergleichs-Luftmassenstrom entspricht;

f) Berechnen (50) der quadratischen Norm (X^2) über die Matrix der Abweichung;

g) Erzeugen einer angepassten Kennlinie (52b) im Sinne einer Optimierung bezüglich der Bedingung, dass die quadratische Norm (X^2) minimal wird;

h) Umrechnen der Signale (U_{HFM}) der Luftmassen-Erfassungseinrichtung (24) in Luftmassenstromwerte (m_{HFM}) durch Interpolation (54) an die angepasste Kennlinie (52b); und

i) Iteration durch Wiederholen der Schritte h), d), e), f), und g).

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Optimierung eine nichtlineare

Optimierung, insbesondere die Levenberg-Marquardt-Methode, verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Iteration nach einer vorgegebenen Anzahl von Iterationsschritten abgebrochen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Iteration bei Erreichen eines vorgegebenen Wertes für die quadratische Norm (X^2) abgebrochen wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Signale im gesamten Last- (P_{ME}) und/oder Drehzahlbereich (n) der Brennkraftmaschine (10) erfasst werden.
- 15 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass unterschiedliche zufallsgenerierte statische Kennlinien als Ausgangskennlinien verwendet werden.
- 20 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Optimierung auch bezüglich einer Nebenbedingung (X'^2) erfolgt, durch welche ein gewünschter Verlauf der angepassten Kennlinie berücksichtigt wird.

5 16.03.2003

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

10

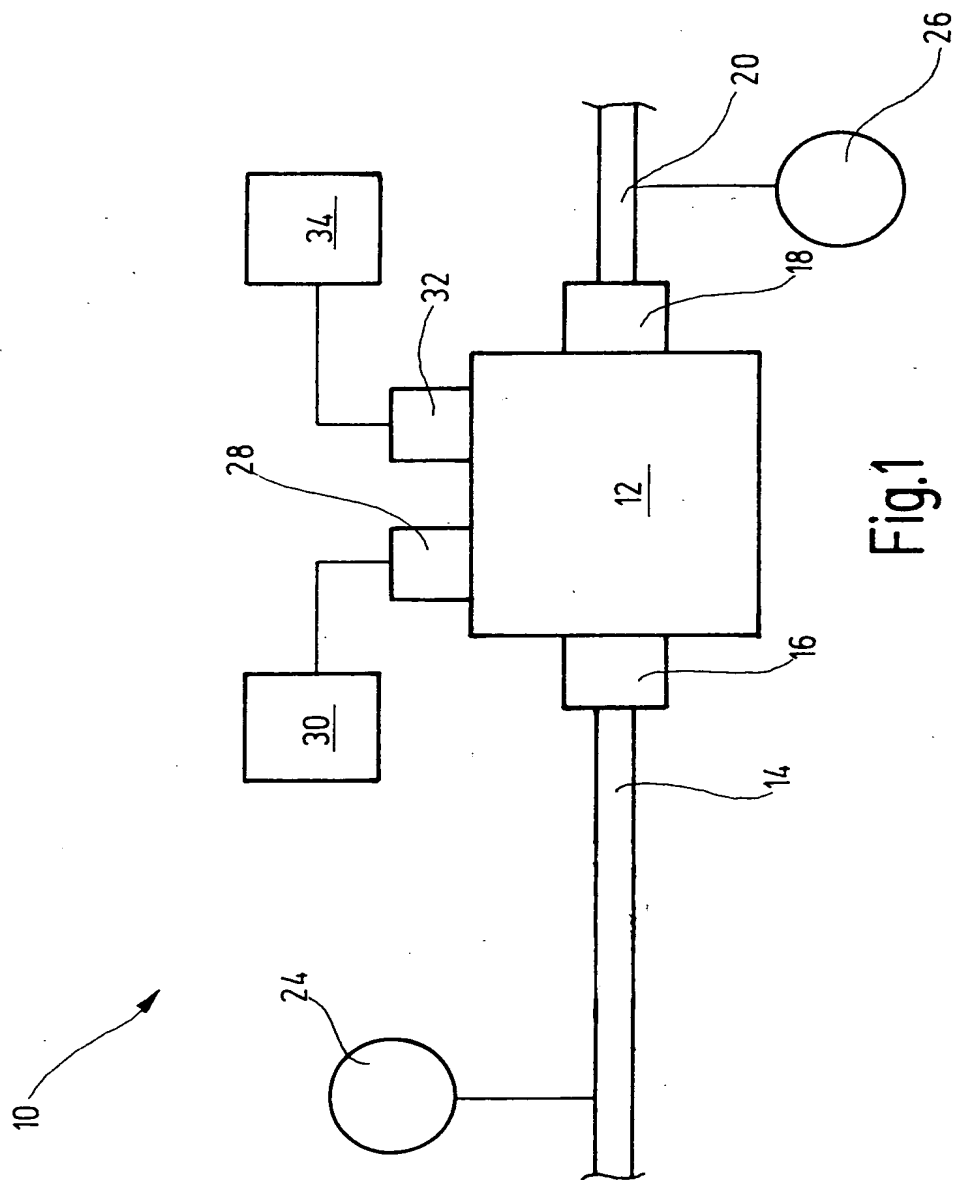
Verfahren zur Erzeugung mindestens einer Kennlinie einer
Luftmassen-Erfassungseinrichtung für eine
Brennkraftmaschine

15

Zusammenfassung

Um bei einer pulsierenden Luftströmung in einem
Ansaugbereich einer Brennkraftmaschine mittels einer
20 Luftmassen-Erfassungseinrichtung dennoch präzise Ergebnisse
erzielen zu können, wird vorgeschlagen, eine angepasste
dynamische Kennlinie mittels eines nichtlinearen
Optimierungsverfahrens zu erstellen.

25



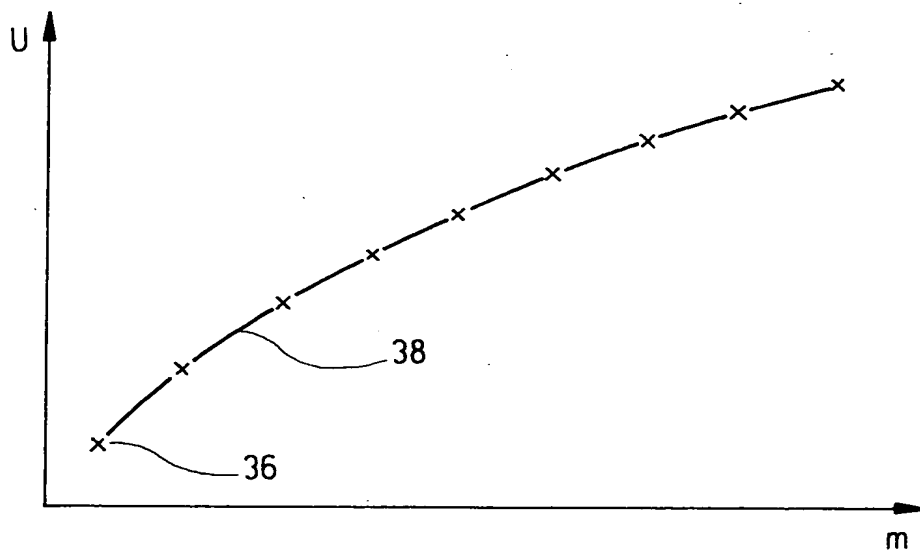


Fig.2

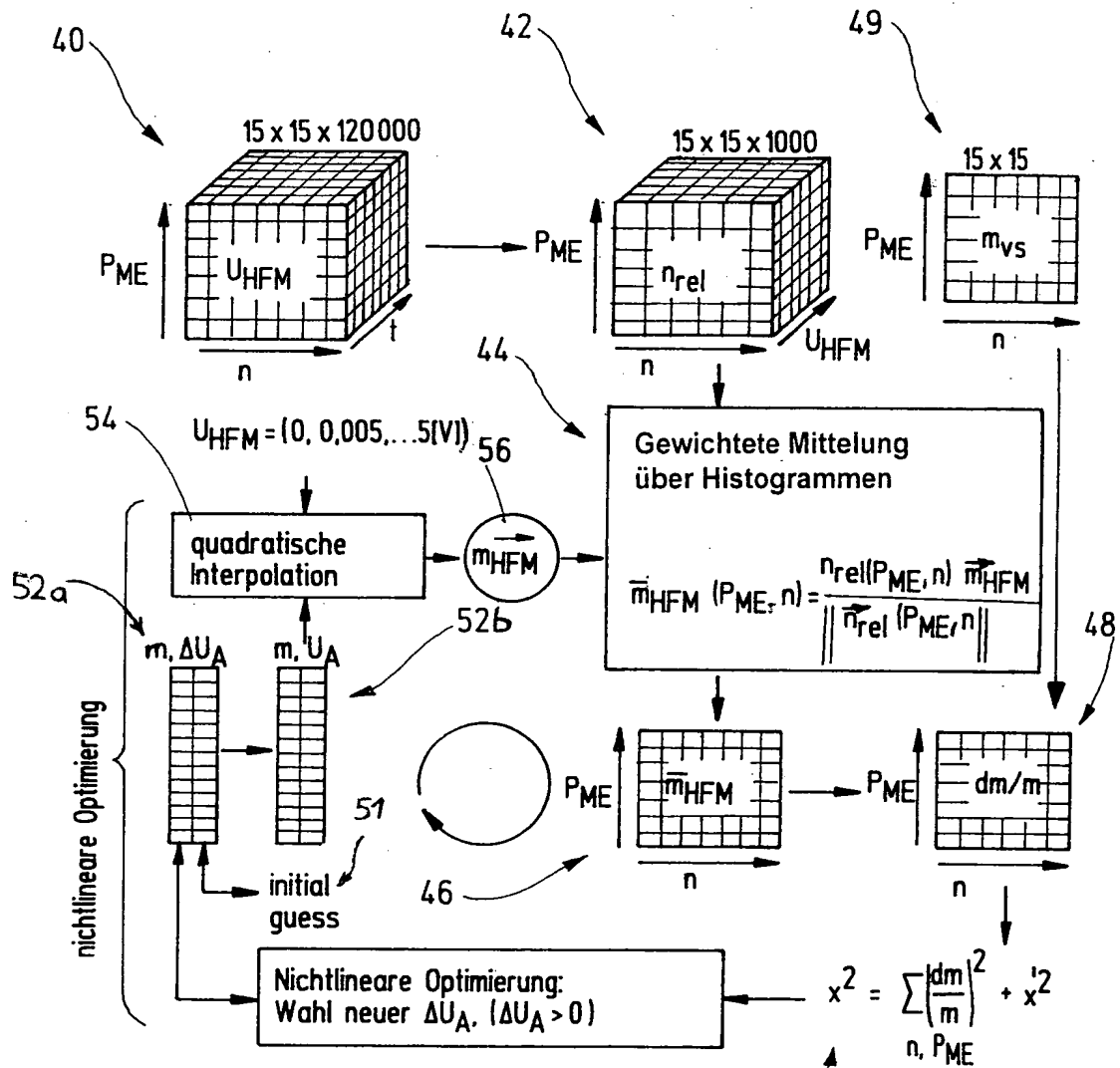


Fig.3

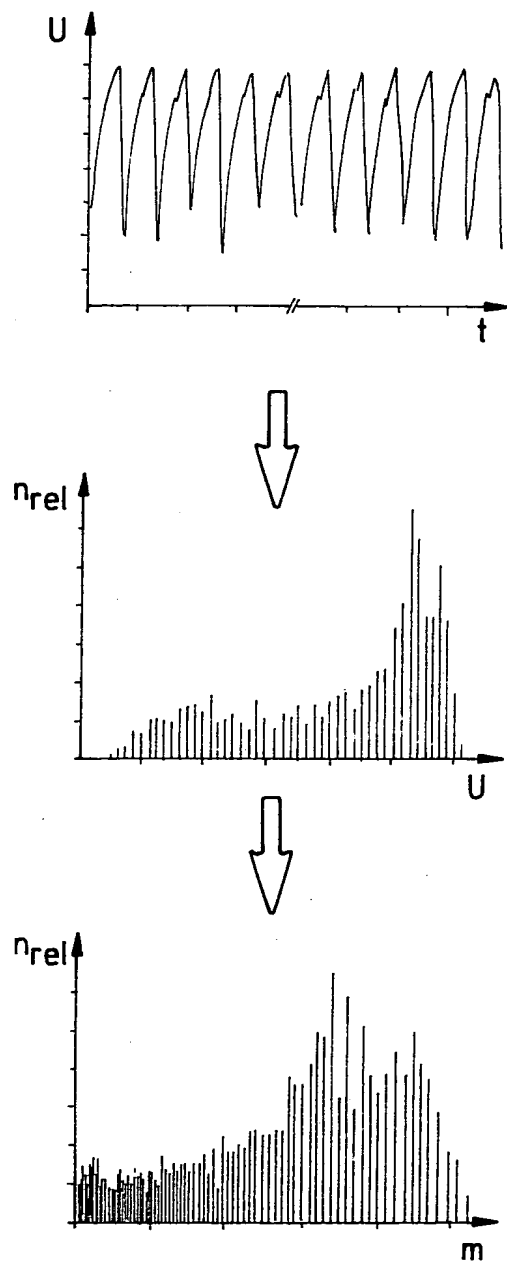


Fig.4

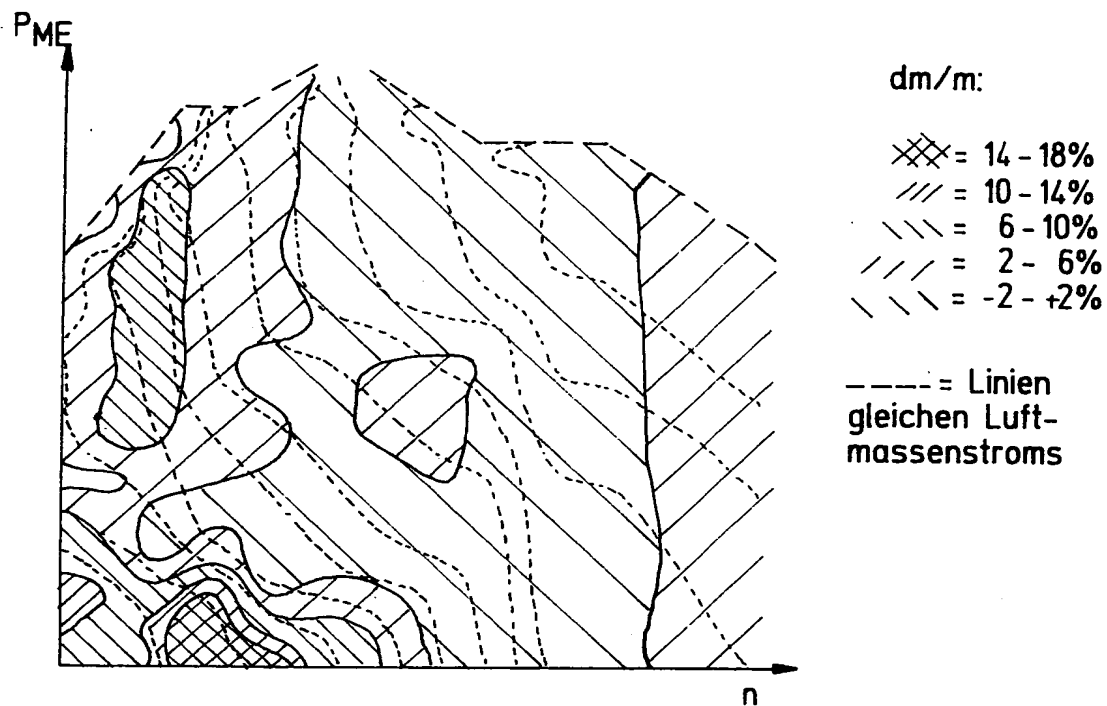


Fig.5

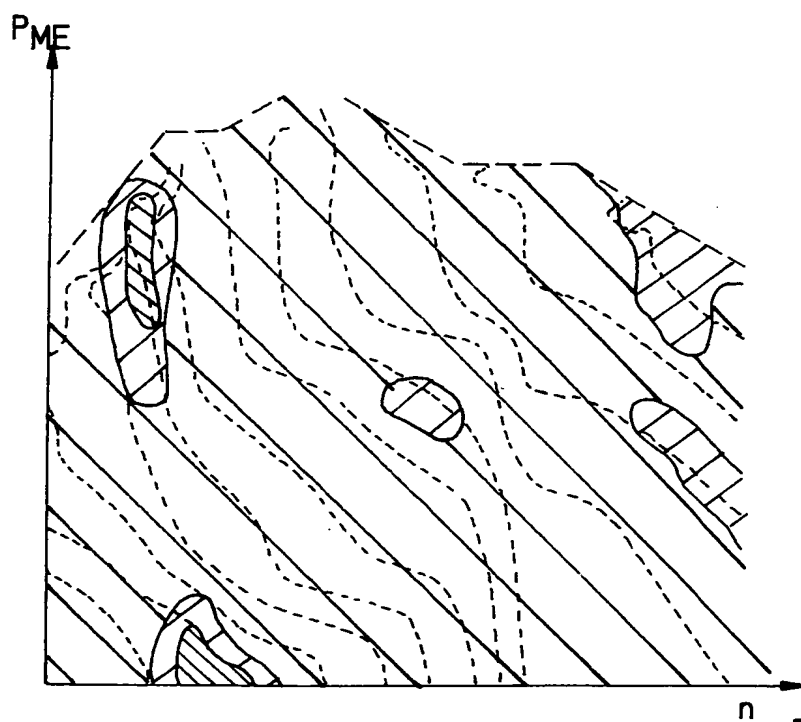


Fig.6

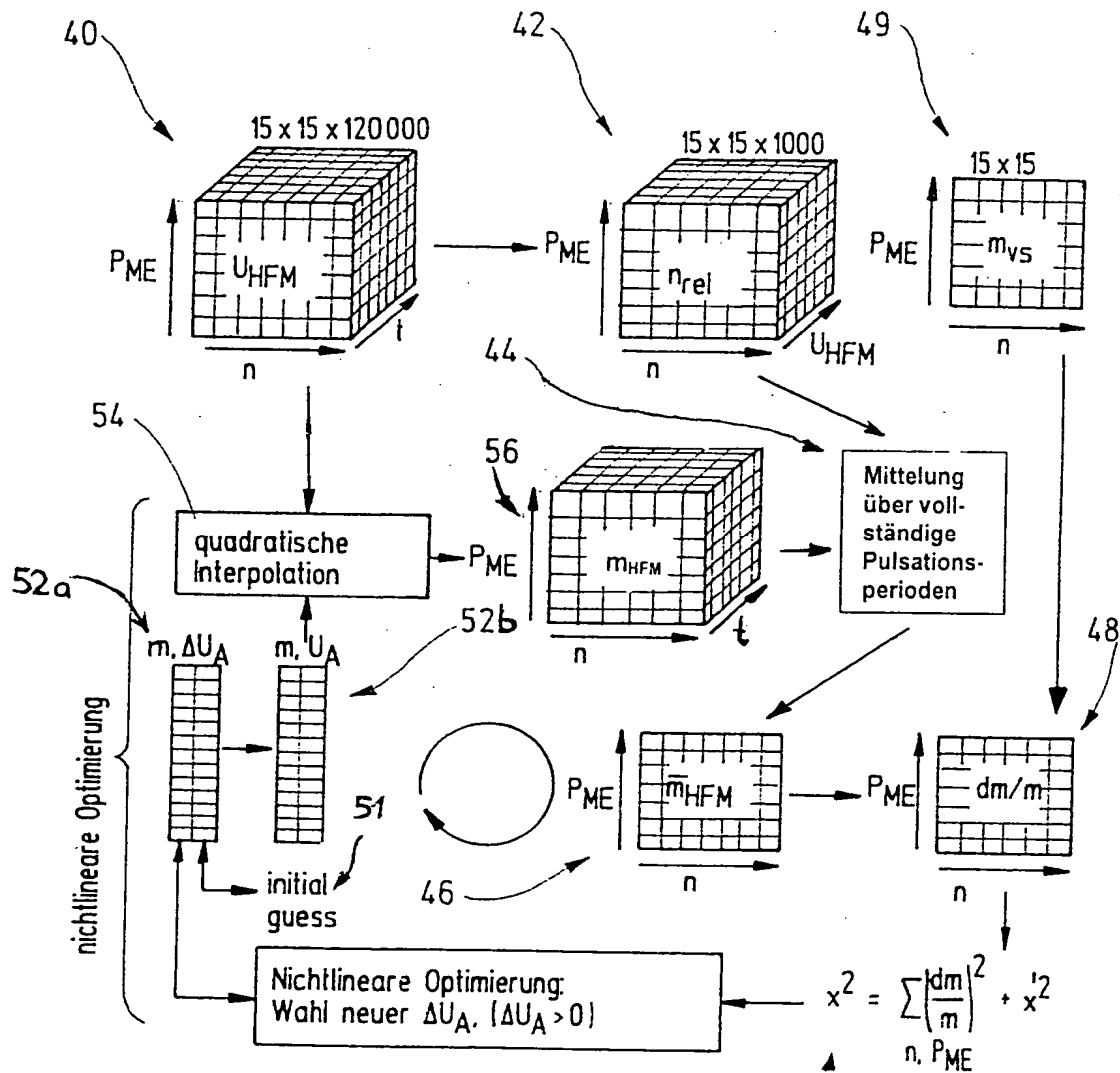


Fig. 7